

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Penelitian Terdahulu

Metode FEA diperkenalkan pertama kali oleh Turnel dkk, yang merupakan teknik komputasi yang kuat untuk mencari solusi yang kompleks dari kondisi di luar perkiraan (Jobaer dkk, 2013). Metode ini diakui sebagai prosedur pendekatan numerik secara umum untuk semua masalah fisik dari sebuah objek yang dapat dimodelkan dengan deskripsi persamaan diferensial. Hal ini melibatkan serangkaian prosedur komputasi untuk menghitung tegangan dan regangan pada setiap elemen (Gallagher, 1975).

Penelitian dengan metode FEA telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Jason Tak-Man Cheung dan Ming Zhang (2006) dalam jurnal penelitiannya yang membahas tentang *Finite Element Modeling of the Human Foot and Footwear*. Dalam penelitiannya ini Cheung dan Ming melakukan pembentukan model *Finite Element* terhadap kaki manusia yang digunakan untuk mengukur interaksi antara biomekanik tulang, ligamen, interaksi antara planar kaki dan perbedaan kondisi dalam pembebanan. Kemampuan model untuk mengukur efek biomekanis dari berbagai faktor geometris dan struktur material yang berbeda dari kaki untuk memprediksi hasil pada pembedahan kaki yang berbeda. Menurut Cheung dan Ming penggunaan metode elemen hingga dapat menjadi tambahan untuk pendekatan eksperimental sehingga dapat memperidiksi distribusi beban kaki antara kaki yang mungkin memiliki perbedaan, dan menawarkan informasi tambahan seperti *intenal stress* dan ketegangan dari kompleks pergelangan kaki.

Penelitian FEA yang dilakukan Cheung dkk (2009) telah terbukti untuk memungkinkan informasi klinis dan keputusan dilakukannya perbaikan terhadap model atau desain yang dibuat. Penelitian FEA yang berhubungan dengan bidang *Orthotics* jarang ditemukan, terutama dalam bidang *Industrial Engineering*. Penelitian mengenai FEA pada kaki manusia telah banyak dikerjakan beberapa peneliti, seperti : David Lemmon (1997), Jason Tak-Man Cheung (2004 & 2005); Steven Goske (2006); Tian-Xia Qiu (2011); dsb. Kebanyakan membahas mengenai mekanika kontak kaki normal, dalam arti telapak kaki yang diteliti tidak mengalami deformasi struktur tulang pada bagian telapak kaki.

Ilmu mekanika kontak merupakan ilmu yang membahas mekanisme kontak antara dua buah benda yang saling bersinggungan. Penelitian yang dilakukan Fitriawan (2011) adalah menganalisis tentang kontak antara lingkaran dengan sebuah permukaan yang kasar. Sifat material yang digunakan pada pemodelan ini adalah elastis-plastis dengan *strain hardening* dan mengambil suatu kasus kontak antara *rigid indenter* dengan *rough surface*. Pada penelitian tersebut digunakan *software* Abaqus 6.10 dengan metode elemen hingga (FEA) untuk menganalisa sekaligus mendapatkan nilai dari hasil simulasi yang dilakukan.

Penelitian mengenai FEA dalam bidang *Industrial Engineering*, terutama di Fakultas Teknologi Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta, pernah dilakukan sebelumnya oleh Yefrry Valdano Untoro (2015) mengenai Analisis Model Konstitutif dari Material Viscoelastis Karet untuk Aplikasi *Spin Casting* dan Fransiskus Andre Cahya Gunawan (2016) pada Analisis *Finite* Elemen pada Material EVA *Rubber* Dua Layer pada Aplikasi *Insole* Sepatu *Orthotic*.

Sampai saat ini kasus penelitian FEA pada kaki dan *insole orthotic* masih sebatas pada penyakit seperti diabetes , *high heel* (Gangming Luo dkk, 2011), *protenus* (Jiayu et all, 2013). Inilah yang menjadi dasar keterbaharuan dari penelitian mengenai FEA terhadap kasus kaki *flat feet*.

## **2.2. Penelitian Sekarang**

Penelitian ini bertujuan sebagai langkah awal dalam mengenalkan dan implementasi dari teknologi *Computer Aided Engineering* (CAE). Teknologi CAE digunakan untuk menyelesaikan kasus dalam penelitian ini atau pada kasus - kasus penelitian tentang pembuatan model produk yang selama ini masih menitik beratkan pada desain produk, tanpa melalui pemilihan model atau desain dengan melakukan analisis elemen hingga terlebih dahulu.

Dalam penelitian ini kasus yang akan dibahas tentang identifikasi pemilihan desain optimal *insole* pada kasus penyakit kaki yaitu *flat feet*. Penyakit *flat feet* sendiri adalah kondisi dimana permukaan atau telapak kaki bagian dalam tidak mempunyai lengkungan sehingga menyebabkan kaki menjadi datar atau rata. Pada kasus kelainan tersebut dibutuhkan analisis elemen hingga (FEA) yaitu kaki sebagai indenter dan beberapa desain *insole orthotic shoe*. Beberapa desain *insole orthotic* akan dikontakkan dengan model kaki dengan kelainan *flat feet* sehingga akan muncul nilai tegangan maksimal.

Software CAE Abaqus 6.13. digunakan untuk menerapkan metode FEA pada pemodelan benda uji sehingga dapat menyelesaikan masalah matematis dari sebuah perilaku kompleks yang akan memberikan output berupa angka atau visualisasi model yang nantinya diharapkan dapat memberikan penjelasan tentang tegangan maksimal pada bagian mana saja yang terjadi pada kaki *flat feet* terhadap *insole orthotic shoe* yang berbahan EVA Rubber.

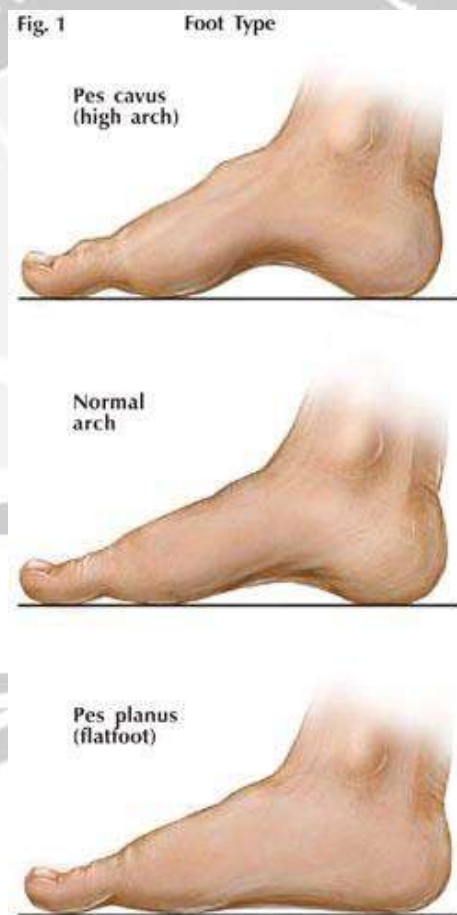
Dalam kasus penelitian ini akan membandingkan dengan peneliti-peneliti sebelumnya, yaitu pada kasus penyakit diabetes menurut Weng-Pin Chen (2003) dan Steven Goske (2006) bahwa *insole* yang sesuai kontur akan dapat mengurangi tekanan dan regangan yang terjadi antara kaki dan *insole*. Penelitian ini akan mendapatkan hasil perbandingan bahwa variasi *insole* yang sesuai dengan kontur akan terjadi pengurangan distribusi tegangan-regangan pada kaki *flat feet*. Hal tersebut dikarenakan perbedaan kontur kaki pada *flat feet* akan menjadikan tegangan-regangan akan berdistribusi merata pada semua kontur karena hampir dipastikan semua kontur bagian permukaan kaki rata terhadap *insole*.

Hasil akhir yang didapat dari penelitian ini adalah berupa tahapan pengoperasian software Abaqus 6.13. dalam proses model yang berbentuk 3D, menghasilkan nilai kurva contact pressure dan displacement, dan variasi produk yang optimal dengan melihat distribusi tekanan dan regangan dalam kajian optimasi desain *Industrial Engineering*.

### **2.3. Teori Dasar *Flat Feet***

Telapak kaki yang rata atau dikenal dengan sebutan kaki datar atau *flat feet* adalah salah satu kondisi yang paling umum ditemui oleh dokter. Gangguan ini dialami oleh sekitar 20 sampai 30% dari populasi di dunia. *Flat feet*, disebut juga *pes planus* atau *fallen arches*, mengacu pada suatu kondisi medis di mana lengkungan kaki rata atau datar. Seluruh bagian telapak kaki menempel atau hampir menempel pada tanah. *Flat feet* atau *flat foot* adalah suatu keadaan dimana elastisitas atau kemampuan kaki atau tapak kaki yang menyerupai shock breaker sudah tidak ada atau molor sehingga jadi datar alias flat. Pada kaki yang normal, terdapat urat yang berfungsi menarik sehingga telapak kaki cekung. Bagian itu bekerja seperti *shock breaker*, meredam gerakan ketika berjalan. Akibat urat fungsi *shock breaker* itu tidak ada, orang yang flat feet ini tidak bisa berjalan lama, cepat merasa letih, dan sakit pada kakinya. Bagi penderita

kelainan ini harus memerhatikan berat badannya, jangan berlebihan (gemuk). Kegemukan akan menjadi beban pada kaki. Akibat lanjutannya, bisa arthritis (radang sendi), kaki bengkok atau kaki X, nyeri pada sendi - sendi sekitar kaki sampai pergelangan kaki. Normalnya harus ada ruang antara kaki dengan tanah. Namun pada beberapa orang, lengkungan telapak kaki ini tidak pernah ada, sedangkan beberapa orang lainnya memiliki lengkungan ketika kaki mereka tidak menyentuh tanah tetapi menghilang ketika mereka berdiri, dan pada orang lainnya telapak kaki datar berkembang seiring dengan bertambahnya usia mereka baik pada satu kaki atau kedua kaki.



**Gambar 2.1. Bentuk Kaki dengan Kelainan *Flat Feet***

(sumber : <http://www.flexfreeclinic.com>)

Peran lengkungan kaki atau “kaki normal” adalah untuk menciptakan keselarasan yang optimal bagi anggota tubuh bagian bawah, panggul, dan punggung bawah. Memiliki “lengkungan normal” memungkinkan distribusi tekanan dan berat badan ke seluruh permukaan kaki dan merata ke atas melalui tungkai. Ketidakmampuan

tubuh kita untuk menjaga lengkungan kaki akan mengarah pada postur tubuh yang kurang baik, tidak hanya kaki, tapi seluruh tubuh. Biasanya, semakin datar telapak kaki seseorang, maka yang semakin serius terkena dampaknya adalah postur tubuh seseorang.

Kaki rata Fleksibel adalah normal pada bayi, anak dan orang dewasa. Kaki datar seringkali merupakan ciri khas keluarga diwariskan. Munculnya kaki rata adalah normal dan umum terjadi pada bayi, sebagian karena “lemak bayi” yang menopang lengkungan berkembang dan sebagian karena lengkungan belum sepenuhnya dikembangkan. Lengkungan manusia berkembang pada masa bayi dan anak usia dini sebagai bagian dari otot normal, tendon, ligamen dan pertumbuhan tulang. Pelatihan kaki, terutama oleh senam kaki dan pergi tanpa alas kaki di berbagai medan, dapat memfasilitasi pembentukan lengkungan waktu kecil, dengan lengkungan dikembangkan untuk sebagian besar terjadi pada usia empat sampai enam tahun. Lengkungan datar pada anak biasanya menjadi lengkungan yang tepat dan lengkungan tinggi sementara anak berlangsung melalui masa remaja dan menjadi dewasa. Karena anak - anak muda tidak mungkin untuk mencurigai atau mengidentifikasi kaki rata pada mereka sendiri, itu adalah ide yang baik untuk orang tua atau pengasuh dewasa lainnya untuk memeriksa ini sendiri.

Berikut ini merupakan tanda dan gejala pada orang yang menderita *flat foot* :

- a. Penderita disuruh menginjak keset basah, lalu berjalan kaki di lantai kering. Kalau gambar kaki (tapaknya) ada lengkungan di tengah (kosong), artinya normal. Namun, kalau gambar kakinya basah semua, artinya flat feet.
- b. Ciri lainnya, seseorang dengan *flat feet* jika berjalan sering jatuh, cepat capai, mengeluh sakit kaki. Bahkan, pada beberapa kasus mereka merasakan sakit punggung.

#### **2.4. Scanning Machine**

Pengertian *3D Scanning* adalah proses mengumpulkan data permukaan dan bentuk objek kemudian ditampilkan dalam bentuk 3 dimensi. Dalam proses *3D Scanning* pastinya akan membutuhkan alat yang berupa atau lebih dikenal dengan sebutan *3D laser scanner*. Alat tersebut bekerja dengan cara mengambil data berupa titik - titik (*point cloud*) yang juga merupakan koordinat dari objek atau lingkungan sekitar yang real.

3D laser scanner atau scanner 3D mirip dengan kamera, dengan sudut pandang cone (kerucut tiga dimensi). Model dalam bentuk 3D yang dihasilkan dari proses 3D scanning banyak digunakan secara luas dalam proses *Engineering Design, Manufacturing, Survey Technology, Engineering Construction, Arts, As Built Survey, Oil & Gas Survey* dan *Engineering* lainnya. Dengan adanya proses 3D scanning kita dengan mudah dalam mendesain ulang segala bentuk objek.

### **2.5. Computer Aided Design (CAD)**

*Computer Aided Design* adalah suatu program komputer untuk menggambar suatu produk atau bagian dari suatu produk. Produk yang ingin digambarkan bisa diwakili oleh garis-garis maupun simbol-simbol yang memiliki makna tertentu. CAD bisa berupa gambar 2 dimensi dan gambar 3 dimensi.

### **2.6. Analisis Elemen Hingga (FEA)**

Analisis elemen hingga (FEA) adalah metode komputerisasi untuk memprediksi bagaimana sebuah produk bereaksi terhadap kekuatan di dunia nyata mengenai getaran, panas, aliran fluida, dan efek fisik lainnya. Analisis elemen hingga menunjukkan apakah suatu produk akan pecah, aus, bekerja sesuai dengan fungsinya, dan untuk memprediksi apa yang akan terjadi pada saat produk digunakan. Persamaan matematika membantu memprediksi perilaku masing-masing elemen.

### **2.7. Computer Aided Engineering (CAE)**

CAE merupakan suatu teknologi yang menggunakan sistem komputer untuk menganalisis fungsi dari produk desain CAD, yang memungkinkan desainer untuk mensimulasikan dan mempelajari bagaimana produk tersebut akan berperilaku sehingga desainnya dapat disempurnakan dan nantinya hasil dari simulasi tersebut dapat divalidasi sehingga menghasilkan desain yang optimal.

### **2.8. Elastomers**

Elastomers biasanya digunakan sebagai istilah umum kelompok polimer dengan beberapa karakter umum, seperti elastisitas tinggi, *viscoelasticity* dan *glass transition temperature* yang jauh dibawah suhu ruangan. Secara umum, karet bisa disebut elastomers karena memiliki elastisitas yang tinggi. *Rubber* atau

*elastomers* adalah jenis polimer ketika mengalami regangan yang besar dapat kembali dengan cepat untuk mendekati bentuk aslinya. Kata-kata 'elastomers' dan 'rubber' sering digunakan untuk arti yang sama. Elastomers terdiri dari rantai polimer dengan berat molekul tinggi yang fleksibel, karena mereka bebas merotasi molekul sepanjang rantai utama. Elastomers dapat memanjang sampai beberapa ratus persen bahkan dengan penerapan tekanan yang relatif kecil (Zang, 2014).

#### **2.8.1. Karet Sintetis (*Synthetic Rubber / SR*)**

*Styrene-butadiene Rubber (copolymer of polystyrene and polybutadiene, SBR)*. Merupakan karet sintetis dominan untuk pembuatan ban. Selain itu juga dapat digunakan untuk membuat barang-barang lain seperti sol sepatu, matras karet, rem, van belt, gasket, mainan anak - anak, kabel, jaket, dan barang-barang farmasi.

#### **2.8.2. *Nitrile Rubber***

Memiliki resisten tinggi terhadap minyak, lemak, dan bahan – bahan kimia lainnya dan dapat tahan terhadap temperatur - 40° C s/d 120° C. Dapat digunakan untuk sepatu, lem, seal, *sponge*, sabuk mobil, dan matras.

#### **2.8.3. *Polybutadiene (BR)***

Merupakan karet sintetis yang kuat untuk pembuatan *side wall* dan *thread* pada ban, umumnya dicampur dengan karet alam atau karet SBR untuk membentuk *compound* pembuatan *thread* ban.

#### **2.8.4. *Synthetic Polyisoprene (IR)***

Memiliki kekuatan yang lemah dibanding BR dan SBR, baik digunakan untuk proses pencampuran, ekstrusi, pencetakan, dan *calendering*. Umumnya digunakan untuk membuat alat-alat olahraga, gasket, *shock* motor, *hoses*, sepatu dan *dot baby*.

#### **2.8.5. *Butyl Rubber***

Merupakan karet sintetis yang tahan terhadap ozon, panas, bahan kimia, dan anti tembus udara ataupun gas dan cairan. Sangat baik digunakan untuk pembuatan ban khususnya untuk *inner liner* ban, ban *conveyor*, lem, alat-alat industri lainnya.

#### **2.8.6. Chloroprene Rubber (CR)**

Merupakan elastomer yang dapat digunakan untuk segala tujuan karena memiliki sifat anti ozon, anti matahari dan oksidasi, tahan air dan bahan kimia dan memiliki sifat kekuatan tensil yang tinggi.

#### **2.8.7. Polyacrylic Rubber (ACM, ABR)**

Merupakan karet khusus pertama yang tahan terhadap minyak panas dan pelumas agresif. Kegunaan utamanya adalah untuk industri otomotif membuat *O-ring*, *oil seal* dan gasket. Selain itu juga untuk pelapis bahan tekstil, *finishing* pembuatan kertas dan kulit.

#### **2.8.8. Silicone Rubber (SI, Q, VMQ)**

Karet silikon berbeda dengan elastomer sintetik lainnya terutama karena karet ini tidak mengandung unsur karbon organik melainkan terdiri dari molekul atom silikon dan oksigen. Sifat fisiknya adalah kurang baik pada suhu ruangan, namun lebih tahan suhu dibanding dengan karet *hydrocarbon* lainnya. Memiliki sifat elektrik yang baik, tahan terhadap cuaca, dan ozon dan konsisten terhadap warna. Digunakan untuk industri pesawat terbang dan industri canggih lainnya karena ia dapat tahan pada suhu 100 hingga 200 derajat lebih, selain itu juga digunakan untuk pembuatan *conveyor* makanan, dan farmasi, serta barang - barang operasi dan tabung transfusi darah, klep jantung buatan, mesin pencuci ginjal dan pelapis kabel serta *seal*.

#### **2.8.9. Fluorosilicone Rubber (CFM)**

Merupakan elastomer yang paling mahal di pasaran. Fungsinya adalah untuk membuat *oil seal* dan selang karet (*hose*) yang tahan terhadap pelumas dan cairan hidrolik pada temperatur tinggi diatas 200 °C sehingga banyak digunakan untuk industri pesawat terbang. Memiliki karakteristik elektrik yang baik dan tidak menyerap air.

#### **2.8.10. Chlorosulfonated Polyethylene (CSM)**

Memiliki sifat khusus yaitu tahan terhadap oksidasi, sinar ultra violet, cuaca, ozon, zat asam dan bahan kimia lainnya. Umumnya digunakan untuk melapisi selang karet dan bahan-bahan pelapis elastik dan anti korosif untuk penerapan di luar ruangan.



#### **2.8.11. Ethylene-vinyl Acetate (EVA)**

Merupakan *copolymer* antara *ethylene* dan *vinyl acetate*, yang dapat disilangkan dengan *peroxide*. Bahan ini resisten terhadap cuaca, oksigen, ozon, panas dan digunakan terutama untuk pembuatan pembungkus kabel antipanas, oil seal dan bahan tekstil.

